

1. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
2. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.
4. Карюк А.М., Пашинський В.А. Методика обчислення розрахункових значень температури повітря за імовірнісного моделлю випадкового процесу // Збірник наукових праць. Вип.13. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – С.24-27.
5. Карюк А.М., Пашинський В.А. Розподіл середньодобової температури повітря на території України // Збірник наукових праць. Вип.11. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – С.66-72.

Отримано 12.11.2004

КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 628.15

О.А.ТКАЧУК, канд. техн. наук

Національний університет водного господарства і природокористування, м.Рівне

ВПЛИВ ЗМІН ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕКОНОМІЧНО ВИГІДНІ ДІАМЕТРИ ВОДОВОДІВ І ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

Розглядаються особливості визначення економічно вигідних діаметрів водоводів і водопровідних мереж в сучасних умовах. Отримано математичну модель і аналітичний вираз формули для їх розрахунків, проведено аналіз впливу основних змінних параметрів на величини діаметрів водопровідних труб.

Водоводи і водопровідні мережі є основною складовою частиною систем подачі та розподілу води, становлять до 80% їх вартості, розташовані по всій території об'єктів водопостачання – населених пунктів, характеризуються конструктивною складністю, динамічністю стану та недосконалістю роботи в сучасних умовах. Тому при їх реконструкції важливим є визначення економічно обґрунтованих діаметрів водопровідних ліній і схем влаштування водопровідних мереж у цілому.

Теорія техніко-економічних розрахунків водоводів і водопровідних мереж розвивається з 40-х років минулого століття і започаткована в роботах Л.Ф.Мошніна, М.М.Абрамова, В.Г.Ільїна, П.Д.Хоружого [1, 2] та ін. Незважаючи на вивчення питання, у зв'язку з новими особливостями роботи систем водопостачання в сучасних умовах та неточністю одних і громіздкістю інших методів розрахунків, вони потребують уточнень. Це, зокрема, стосується оцінки капіталовкладень у ринкових

умовах, коректування цінових показників, розрахунків економічно вигідних діаметрів труб тощо.

Теоретичний аналіз традиційних методів техніко-економічних розрахунків та вивчення особливостей роботи водоводів і водопровідних мереж у нинішніх умовах дозволяє внести зміни й доповнення до цих методів з метою їх вдосконалення і підвищення точності кінцевих результатів – обґрунтування економічно вигідних діаметрів труб і схем влаштування систем подачі і розподілу води, і зокрема, водопровідних мереж.

В техніко-економічних розрахунках водоводи і водопровідні мережі розглядають, як єдиний технологічний комплекс в системах подачі і розподілу води: насосна станція – водоводи – водопровідні мережі [1, 2]. Це пов'язано з необхідністю врахування змінної складової експлуатаційних витрат – вартості електроенергії на підняття і транспортування води. Схеми їх влаштування, відповідно до складності техніко-економічних розрахунків, можна віднести до одного з трьох основних типів: прості водоводи (подача води по кількох нитках із її розбором в кінці водоводів); комбіновані водоводи і «лінійні» мережі (те ж, із розбором води в кінцевих і проміжних точках); кільцеві мережі (багатоструктурований граф із довільними розборами води).

Оцінку економічної ефективності при реалізації проектів науково-технічних розробок слід визначати з врахуванням життєвого циклу капіталу на основі комплексу показників, які визначаються залежно від стадії проекту та мети оцінки [3]. Основним серед них є чистий дисконтований доход ($ЧДД$), що визначається за формулою

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+e)^t}, \quad (1)$$

де t – роки реалізації проекту ($t = 0 \dots T$); e – норма прибутку або коефіцієнт дисконтування; P_t – чистий грошовий потік у t -му періоді (році).

Чистий грошовий потік є різницею між сумою притоків (прибутків) P_t і відтоків (затрат) B_t , які включають необхідні для реалізації проектів капітальні і поточні витрати без повторного рахування однакових витрат [3, п.3.12]. Стосовно розрахунків водоводів і мереж вони повинні включати: будівельну вартість (капітальні затрати) K_t , амортизаційні відрахування Ba_t та вартість електроенергії на підняття і транспортування води $Bел_t$

$$P_t = \Pi_t - B_t = \Pi_t - K_t - Ba_t - Bel_t. \quad (2)$$

В результаті отримаємо

$$Чдд = \sum_{t=0}^T \frac{\Pi_t - K_t - Ba_t - Bel_t}{(1+e)^t} = \Pi_n - K_n - \sum_{t=0}^T \frac{Ba_t + Bel_t}{(1+e)^t} = \Pi_n - B_n, \quad (3)$$

де Π_n , K_n і B_n – дискontовані величини прибутку, капітальних затрат і сумарних витрат на початок реалізації проекту, тобто при $t=0$.

Такий підхід у ринковій економіці будівництва відповідає методу чистої нинішньої вартості, за яким найбільш ефективним визнається той проект, для якого величина $Чдд$ є найбільшою. З формули (3) виходить, що при будь-яких значеннях Π_n величина $Чдд$ буде найбільшою при мінімумі B_n . Це означає, що для знаходження економічно вигідних діаметрів труб водоводів і мереж слід дослідити екстремальність функції мети для пошукового аргументу ($d_{ек}$)

$$B_n = K_n + \sum_{t=0}^T \frac{Ba_t + Bel_t}{(1+e)^t}. \quad (4)$$

Капітальні затрати слід приймати рівною вартості влаштування труб водоводів і водопровідних мереж і визначати в загальному вигляді за формулою

$$K_n = \sum_{i=1}^N (a_i + b_i \cdot d_i^{\alpha_i}) \cdot l_i, \quad (5)$$

де N – загальна кількість ниток водоводів та ділянок мережі; a_i , b_i та α_i – параметри аналітичного виразу питомої вартості прокладання трубопроводів залежно від матеріалу, умов будівництва та їх призначення і відповідного обладнання; d_i і l_i – діаметр і довжина i -ї ділянки (нитки водоводів).

Відрахування на амортизацію (повне відновлення і ремонт) трубопроводів Ba_t визначають як добуток нормативних відрахувань P_a на будівельну вартість K_n . В результаті отримаємо

$$B_n = K_n + \sum_{t=0}^T \frac{P_a \cdot K_n}{(1+e)^t} + \sum_{t=0}^T \frac{Bel_t}{(1+e)^t} = K_n \left(1 + P_a \cdot \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+e)^t} \right) + \sum_{t=0}^T \frac{Bel_t}{(1+e)^t} =$$

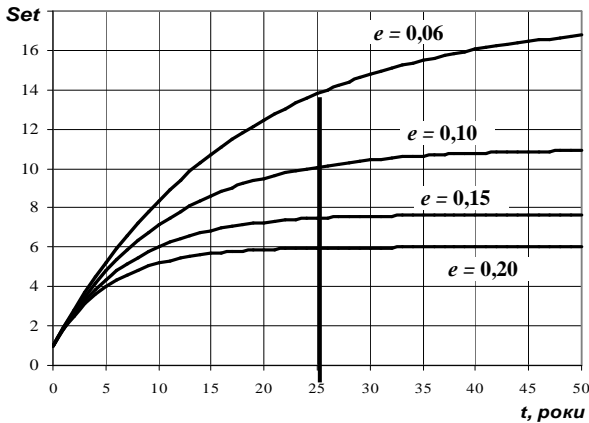
$$= \sum_{i=1}^N (a_i + b_i \cdot d_i^{\alpha_i}) \cdot l_i \cdot (1 + Pa \cdot Set) + \sum_{t=0}^T \frac{Bel_t}{(1+e)^t}, \quad (6)$$

де Set – параметр, який може визначатись за принципом послідовного сумування, або за формулою його аналітичного аналога

$$Set = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+e)^t} = 1 + \frac{1}{e} - \frac{1}{e(1+e)^T}. \quad (7)$$

Зміна параметра Set по роках для різних коефіцієнтів дисконтування e показана на рисунку, з якого видно, що при $e > 0,1$ і термінах $T > 25$ років, що відповідає проектним строкам служби більшості трубопроводів, величини Set практично не змінюються і можуть визначатись за спрощеною формулою (при $T = \infty$)

$$Set = 1 + 1/e. \quad (8)$$



Зміна параметра Set по роках для різних коефіцієнтів дисконтування e

Вартість електроенергії на підняття і транспортування води Bel_t становитиме

$$Bel_t = N_{cpr,t} \cdot \Theta_t \cdot \sigma_t = \sigma_t \cdot \sum_{\tau=1}^{\Theta_t} N_{\tau}, \quad (9)$$

де $N_{cpr,t}$ і N_{τ} – середня за рік (t -й) і фактична (середня за 1 годину) потужність, витрачена на підняття води, кВт; Θ_t – тривалість роботи

системи протягом t -го року, год.; в основному цілодобово (24 год.) протягом всього року (365 днів) – 8760 год.; σ_t – вартість 1 кВт·год. електроенергії для t -го року, грн.

$$N_{\tau} = \frac{1000 \cdot Q_{HC.\tau} \cdot H_{HC.\tau}}{102 \cdot \eta_{\tau}}, \quad (10)$$

де $Q_{HC.\tau}$ і $H_{HC.\tau}$ – подача води, м³/с, і висота підняття води, м, насосною станцією протягом τ -ї години; η_{τ} – коефіцієнт корисної дії насосних агрегатів для τ -ї години, д. од.

Висота підняття води в загальному вигляді визначається за формулою

$$H_{HC.\tau} = H_{\varepsilon} + \sum_{i=1}^N x_{i,\tau} \frac{k_i \cdot l_i}{d_i^{m_i}} q_{i,\tau}^{\beta_i}, \quad (11)$$

де H_{ε} – геометрична висота підняття води насосами, м; $x_{i,\tau}$ – коефіцієнт ролі i -ї ділянки у витратах енергії на транспортування води для τ -ї години; k_i , m_i і β_i – параметри у формулі втрат напору в трубах i -ї ділянки; $q_{i,\tau}$ – витрати води на i -й ділянці для τ -ї години, м³/с.

З урахуванням наведених формул функція мети для пошукового аргументу матиме вигляд:

$$B_n = (1 + P_a \cdot Set) \sum_{i=1}^N (a_i + b_i \cdot d_i^{\alpha_i}) l_i + 9,81 \sum_{t=0}^T \left(\frac{\sigma_t}{(1+e)^t} \sum_{\tau=1}^{\Theta_t} \left(\frac{Q_{HC.\tau} \cdot H_{\varepsilon}}{\eta_{\tau}} + \frac{Q_{HC.\tau}}{\eta_{\tau}} \sum_{i=1}^N x_{i,\tau} \frac{k_i \cdot l_i}{d_i^{m_i}} q_{i,\tau}^{\beta_i} \right) \right). \quad (12)$$

Виконавши математичний аналіз функції B_n (дослідивши її першу і другу похідні), отримаємо загальний вираз аналітичної формули для визначення економічно вигідних діаметрів труб водоводів і водопровідних мереж

$$d_{ек.i} = E_i \cdot k_{qt.i} \cdot Q_{сп. HC.o}^{\frac{\beta_i+1}{\alpha_i+m_i}}, \quad (13)$$

де E_i – параметр, що враховує вартість будівництва та експлуатації

трубопроводу на i -й ділянці (аналогічно економічному фактору Ξ); $k_{qt,i}$ – узагальнений коефіцієнт відносного завантаження i -ї ділянки;

$Q_{cp.HC.o}$ – середня (за рік) подача води насосною станцією в початковий період, м³/с.

$$E_i = \left(\frac{85900 \cdot k_i \cdot m_i \cdot \sigma_o}{\alpha_i \cdot b_i \cdot \eta_p \cdot \left(\frac{1}{Set} + P_a \right)} \right)^{\frac{1}{\alpha + m}}; \quad (14)$$

$$k_{qt,i} = \left(\frac{1}{8760 \cdot Set} \cdot \sum_{t=0}^T \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_o} \cdot \frac{1}{(1+e)^t} \cdot \sum_{\tau=1}^{\Theta_t} \left(\frac{\eta_p}{\eta_\tau} \cdot k_{QHC,\tau}^{\beta_{i+1}} \cdot x_{i,\tau} \cdot k_{qi,\tau}^{\beta_i} \right) \right) \right)^{\frac{1}{\alpha_i + m_i}}, \quad (15)$$

де σ_t і σ_o – вартість 1 кВт·год електроенергії для t -го року і в початковий період, грн.; η_p і η_τ – коефіцієнти корисної дії насосних агрегатів, відповідно, розрахунковий і для τ -ї години, д. од;

$k_{QHC,\tau} = Q_{HC,\tau} / Q_{cp.HC.o}$ – коефіцієнт зміни відносної подачі насосної станції для τ -ї години; $k_{qi,\tau} = q_{i,\tau} / Q_{HC,\tau}$ – те ж, для i -ї ділянки.

Для практичних розрахунків основні параметри, які входять до формул (13)-(15), наведено в таблиці (отримано на основі попередніх досліджень [2]). При вартості електроенергії $\sigma=0,32$ грн./кВт·год, $\eta_p=0,7$ та $e \approx 0,16$ величини економічних факторів становлять: для водоводів – $E = 0,88...1,14$; для водопровідних мереж – $E = 0,92...1,11$.

Параметри для визначення економічно вигідних діаметрів труб

№ з/п	Труби	Параметри						
		k	β	m	a	b	α	P_a
1	Сталеві	0,00148	1,93	5,08	23/100	632/705	1,1/1,15	0,055
2	Чавунні	0,00163	1,81	4,90	77/140	950/1030	1,6/1,5	0,024
3	Залізобетонні	0,00169	1,85	4,89	380/510	465/490	2,05/2,4	0,040
4	Пластмасові	0,00105	1,774	4,774	62/100	1520/1340	1,8/1,5	0,026

Примітки:

1. Значення параметрів k , a і b слід приймати для d , мм, і Q , м/с.
2. Над рискою наведено величини параметрів для водоводів, а під рискою для водопровідних мереж.

Узагальнений коефіцієнт відносного завантаження $k_{qt,i}$ залежить від вартості електроенергії, коефіцієнтів дисконтування, корисної дії насосних агрегатів, ролі ділянок у витратах енергії на транспортування води, відносної подачі насосної станції та витрат на окремих ділянках, матеріалу труб, а також від їх змін протягом всього розрахункового періоду T і визначається залежністю (15). При цьому вирази для коефіцієнтів зміни відносної подачі можна записати так:

$$\begin{aligned} k_{QH.C.\tau}^{\beta_i+1} \cdot k_{qi.\tau}^{\beta_i} &= \left(\frac{Q_{HC.\tau}}{Q_{cp.HC.o}} \right)^{\beta_i+1} \left(\frac{q_{i\tau}}{Q_{HC.\tau}} \right)^{\beta_i} = \\ &= \frac{Q_{HC.\tau}}{Q_{cp.HC.o}} \left(\frac{q_{i\tau}}{Q_{cp.HC.o}} \right)^{\beta_i} = k_{QH.C.\tau} \cdot k_{qi.\tau}^{\beta_i}, \end{aligned} \quad (16)$$

де $k_{qi.\tau} = q_{i\tau} / Q_{cp.HC.o}$ – коефіцієнт зміни витрат води на i -й ділянці для τ -ї години відносно середньої (за рік) подачі води насосною станцією в початковий період.

З другого боку, для ділянок водоводів можна записати:

$$k_{qi.\tau} = \frac{q_{i\tau}}{Q_{cp.HC.o}} = \frac{q_{io}}{Q_{cp.HC.o}} \cdot \frac{q_{i\tau}}{q_{io}} = k_{d.i} \cdot k_{q.\tau}, \quad (17)$$

де $k_{d.i}$ – коефіцієнт завантаження i -ї ділянки в початковий період (не залежить від часу, а тільки від місця ділянки на схемі СПРВ і є величиною сталою для даної її схеми); $k_{q.\tau}$ – коефіцієнт зміни відносної витрати на i -ї ділянці для τ -ї години (відносно середніх за рік витрат в початковий період на цій ділянці).

Коефіцієнти $k_{QH.C.\tau}$ і $k_{q.\tau}$ відповідають коефіцієнтам нерівномірності подачі води насосною станцією $K_{год.\tau}^{HC}$ і нерівномірності витрат на ділянках водоводів $K_{год.\tau}^D$. Їх числові значення знаходяться в межах коефіцієнтів мінімальної $K_{год.\min}$ і максимальної $K_{год.\max}$ подачі води (для водоводів – водоспоживання):

$$K_{год.\min}^{HC} \leq K_{год.\tau}^{HC} \leq K_{год.\max}^{HC}; \quad K_{год.\min}^D \leq K_{год.\tau}^D \leq K_{год.\max}^D.$$

Зміну розмірів водоспоживання (подачу середніх за рік добових і погодинних витрат води) можна описати залежністю

$$Q_t = Q_o \left(1 + a_t \cdot t^\gamma\right), \quad (18)$$

де Q_t і Q_o – подача води для t -го року і в початковий період; a_t і γ – коефіцієнт і показник степеня, які залежать від умов водоспоживання і визначаються експериментально.

Зміну інших впливових параметрів також можна описати аналітичними залежностями, які з достатньою для подальшого аналізу точністю можуть бути представлені у вигляді:

$$\sigma_t = \sigma_o \left(1 + a_\sigma \cdot t\right), \quad (19)$$

$$\eta_\tau = \eta_p \cdot \left(1 - a_\eta \cdot t \cdot \tau\right), \quad (20)$$

де a_σ і a_η – коефіцієнти зміни вартості електроенергії і корисної дії насосних агрегатів.

Якщо прийняти $x_{i,\tau} = 1/n_i = \text{const}$ [3], що відповідає умовам надійності та взаємозаміни ділянок одного перетину водоводів (рисунк), то отримаємо

$$k_{qt.i} = \left(\frac{k_{\mathcal{D}.i}^{\beta_i}}{n_i} \right)^{\frac{1}{\alpha_i + m_i}} \left(\frac{1}{8760 \cdot \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+e)^t}} \right)^{\frac{1}{\alpha_i + m_i}} \times \\ \times \left(\sum_{t=0}^T \left(\frac{1 + a_\sigma \cdot t}{(1+e)^t} \cdot \sum_{\tau=1}^{8760} \left(\frac{(1 + a_t \cdot t^\gamma)^{\beta_i + 1}}{1 - a_\eta \cdot t \cdot \tau} \cdot K_{\text{зод},\tau}^{HC} \cdot (K_{\text{зод},\tau}^{\mathcal{D}})^{\beta_i} \right) \right) \right)^{\frac{1}{\alpha_i + m_i}}. \quad (21)$$

У цій формулі тільки третій множник залежить від всіх параметрів, які змінюються протягом розрахункового періоду і можуть знаходитися в широкому діапазоні значень. Для практичних розрахунків вони становлять: $t = 0 \dots 25$ р. (строк служби T до 25 років); $e = 0,06 \dots 0,25$ (6-25% кредитних ставок); $a_\sigma = -0,04 \dots 0,2$ (зміна вартості електроенергії від «нуля» до 6 разів); $a_\eta = 0 \dots 0,0000032$ (зменшення початкового ККД на 70%); $\gamma = 0 \dots 1,5$; $a_t = -1/T^\gamma \dots 3,5/T^\gamma$ (зміна подачі води від

«нуля» до 3,5 разів); $K_{год.макс} = 1,35..3,0$ (за умови $K_{год.макс}^D \geq K_{год.макс}^{HC}$).

Для порівняння в найпростішому випадку подачі води по простих водоводах (рисунок), прийнявши по аналогії з [1, 2] однакові величини річних витрат води ($a_t = 0$), $\sigma_t = \sigma_o = const$ ($a_\sigma = 0$), $\eta_\tau = \eta_p = const$ ($a_\eta = 0$), $x_{i\tau} = x_i = 1/n_i = const$, $K_{год.\tau}^D = K_{год.\tau}^{HC} = K_{год.макс}^{HC}$, отримаємо

$$k_{qt.i} = \left(\frac{K_{год.макс}^{HC}}{n_i} \right)^{\frac{\beta_i + 1}{\alpha_i + m_i}}. \quad (22)$$

Застосувавши цей вираз до формули (13), отримаємо відомий аналітичний вираз для визначення економічно вигідних діаметрів водоводів. Його слід розглядати як частковий випадок запропонованого загального підходу і отриманої математичної моделі (формули (6)-(15)), що враховує зміни вартісних показників, подачі і режимів роботи системи *насосна станція – водоводи – водопровідна мережа* за весь період її функціонування. При цьому порівняльні розрахунки величин коефіцієнтів $k_{qt.i}$ за формулами (21) і (22) показують, що їх співвідношення лежить в межах 0,9-1,3, що вказує на суттєві уточнення в техніко-економічних розрахунках водоводів і водопровідних мереж на основі запропонованої моделі.

Таким чином, в результаті розгляду особливостей техніко-економічних розрахунків водоводів і водопровідних мереж в умовах ринкової економіки отримано математичну модель та аналітичний вираз для визначення економічно вигідних діаметрів труб. У порівнянні з традиційними методами додатково враховані зміни впливових параметрів протягом всього періоду функціонування системи подачі і розподілу води. Це стосується зміни вартості електроенергії, зменшення коефіцієнтів корисної дії насосних агрегатів, зростання (або падіння) загального водоспоживання, коливань нерівномірності подачі води та зміни кредитних ставок при залученні інвестицій у будівництво водоводів і мереж.

1.Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. Затверджена Мінекономіки та з питань європейської інтеграції та Мінфіном України 26.09.2001р., № 218/446. – 32 с.

2.Хоружий П.Д., Ткачук О.А. Водопровідні системи і споруди. – К.: Вища школа, 1993. – 262 с.

3.Ткачук О.А. Теоретичні дослідження з вдосконалення техніко-економічних розрахунків водоводів і водопровідних мереж // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування: Зб. наук. праць. Вип.2 (26). – Рівне: УДУВГП, 2004. – С.301-307.

Отримано 25.10.2004

УДК 628.16

С.В.ВЕЛИЧКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОРДІЄРИТОВИХ ФІЛЬТРІВ ПРИ РІЗНИХ ПИТОМИХ ВИТРАТАХ ВОДИ

На основі лабораторних досліджень встановлено залежності основних параметрів кордієритового фільтра від питомої витрати води. Розроблена математична модель процесу вилучення з води сполук заліза та визначено граничні умови її застосування.

Як відомо, якість питної води в багатьох містах і селах України не відповідає вимогам діючих ДСанПін за вмістом заліза ($C_H \leq 0,3 \text{ мг/дм}^3$). Для видалення цих сполук розроблено та використовується багато технологій і установок. Але всі вони мають ряд недоліків, відзначаються великою вартістю будівництва і складністю в експлуатації. Крім того, при нинішньому технічному стані водопровідних мереж навіть ідеально очищена водопровідна вода при транспортуванні її від насосної станції до споживачів повторно забруднюється і набуває якостей технічної води. Тому в розвинутих країнах цю воду доочищують безпосередньо у споживача, враховуючи ще й той факт, що для питних потреб потрібно всього 10-15% води від загального водоспоживання.

Для доочищення водопровідної води доцільно застосовувати неорганічні сорбенти природного походження, які мають відносно невелику вартість та високу селективність до іонів мікро- і макроелементів та радіонуклідів.

Наші дослідження [1-3] свідчать, що для цього доцільно використовувати кордієрит $Mg_2 Al_3 AlSi_5 O_{18} H_2 O$, який дає можливість виготовляти фільтри з комірками заданих розмірів і великою площею контакту при фільтруванні через них забрудненої води.

Нами були проведені лабораторні дослідження процесу доочищення водопровідної води від сполук заліза при фільтруванні її через фільтр з кордієритовим завантаженням, модифікованим 5% розчином гідроксиду калію.

Ефективність роботи фільтра вивчали при різних витратах вихід-